

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.311.243

На правах рукописи

АКСЁНОВ
Олег Дмитриевич

**КРАТКО И СРЕДНЕСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫРАБОТКИ
СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ И БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии
(профилизация «Компьютерные технологии проектирования
электронных систем»)

Минск 2021

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель: **ХОРОШКО Виталий Викторович**,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **ЛАБОЦКИЙ Владимир Виленьевич**,
кандидат технических наук, доцент кафедры управления информационными ресурсами Академии управления при Президенте Республики Беларусь

Защита диссертации состоится «24» июня 2021 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, E-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) характеризуются возрастающей долей возобновляемых источников энергии, что обусловлено существующими механизмами стимулирования их развития. В ЭЭС со значительной долей возобновляемых источников энергии задача эффективного размещения генерирующих объектов имеет также ряд дополнительных особенностей, а именно связана с задачами размещения генерации и планирования режимов ее работы, которые в свою очередь определяются правилами технологического функционирования ЭЭС и базируются на формировании долгосрочных и краткосрочных балансов мощности и электроэнергии. Также задача размещения генерирующих объектов в ЭЭС со значительной долей возобновляемых источников энергии (ВИЭ), имеет непосредственную связь с задачей прогнозирования генерации электрической энергии, так как отсутствие достоверных прогнозов ВИЭ влечет за собой необходимость постоянного поддержания полноценного резерва активной мощности в энергосистеме (в объеме располагаемой мощности ВИЭ), что фактически означает необходимость дополнительного включения тепловой генерации и её работы в неэкономичных режимах и резервирования пропускной способности электрических сетей, что в свою очередь создает проблему формирования избыточных мощностей не только на уровне регионов, но и на уровне потребителей.

Проблемы прогнозирования генерации электроэнергии на объектах, функционирующих с использованием различных видов ВИЭ, связаны с проблемой стохастического характера их генерации. Такая задача является многофакторной с большим числом плохо формализуемых и лингвистических данных, так как базируется на метеорологических и климатических данных, укрупненный характер которых также оказывает сильное влияние на результат прогнозирования генерации электрической энергии.

Человечество постоянно развивается и ищет пути улучшения экологии и окружающей среды попутно развивая альтернативную энергетику, представляющая собой совокупность оптимальных способов получения энергии, которые получили распространение не так широко, как традиционные, однако представляю интерес и ценность из-за целесообразности их использования при низком уровне причинения вреда экологии и скором своем возобновлении. Поэтому в современном мире активно осваиваются альтернативные источники энергии, которые находят свое применение в повседневной жизни человека. Основным преимуществом ВИЭ является их экологическая чистота, доступность, обширная область использования и неограниченность.

С развитием устройств, преобразовывающих ВИЭ, широкое распространение получили устройства, использующие энергию Солнца – солнечный модуль. Солнечная выработка электроэнергии представляет собой чистую альтернативу электроэнергии из добываемого топлива, без загрязнения воздуха и воды, отсутствием глобального загрязнения окружающей среды и без каких-либо угроз для нашего общественного здравоохранения, также она характеризуется низким уровнем шума или полным отсутствием его, широкой сферой

применения и беспроблемной утилизацией.

Вышесказанное подчеркивает актуальность исследования и необходимость гармонизации процесса внедрения фотоэлектрических станций в энергосистемы, а также выявляет ряд принципиально новых проблем и задач, требующих разработки новых подходов к их решению с точки зрения информационно-аналитических и математических принципов обработки и анализа данных. Таким образом, задачи размещения и краткосрочного прогнозирования генерации электрической энергии фотоэлектрическими станциями – актуальные задачи для собственников генерирующих объектов и для организаций диспетчерского и технологического управления, обеспечивающих планирование электроэнергетического режима и бесперебойное электроснабжение потребителей, как с технической, так и с экономической точек зрения.

В диссертационной работе разработана математическая модель прогнозирования выработки электроэнергии солнечными панелями на кратко и среднесрочном интервале времени.

Автор выражает благодарность Хорошко В.В. – научному руководителю, кандидату технических наук, заведующему кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы магистерской диссертации обусловлена необходимостью контроля и экономии электроэнергии, выработанной солнечными модулями, грамотным и эффективным хранением накопленной электроэнергии, а также тем, что солнечная выработка электроэнергии представляет собой чистую альтернативу электроэнергии из добываемого топлива, без загрязнения воздуха и воды, что не влечет за собой опасность окружающей среде.

Степень разработанности проблемы

Исследование систем прогнозирования электроэнергии в Республики Беларусь выявило, что подобные разработки хоть и ведутся, однако методы машинного обучения в данных проектах не применялись. Предложенная модель предсказания выработки позволит эффективнее управлять потенциалом гелиоэнергетических ресурсов и впоследствии повысить долю возобновляемых источниках энергии в общем энергобалансе.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование корреляции метеорологических параметров с выработанной электроэнергией от солнечных модулей, а также на основании проведенного анализа прогнозирование выработки солнечных панелей на кратко и среднесрочный период.

Поставленные цели работы определяют **следующие основные задачи:**

1. Изучение научной литературы, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров по теме диссертации.

2. Проведение экспериментов по прогнозированию электрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе поликристаллического кремния по моделям их деградации

3. Исследование корреляционных связей метеорологических данных с выработкой солнечных элементов.

4. Прогнозирование выработки солнечных модулей на различных математических моделях.

5. Верификация спрогнозированных значений выработки солнечных панелей.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 80 03-2019 специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии (профилизация «Компьютерные технологии проектирования электронных систем»).

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли проекты и исследования ученых в области автономных систем на основе гелиоэнергетики, документация и информационные ресурсы разработчиков систем, а также анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость полученных результатов заключаются в разработке методов и алгоритмов прогнозирования энергетических параметров фотоэлектрических станций (ФЭС), отличающихся применением регрессионного анализа больших объёмов данных по выработке электроэнергии и установлению корреляционных связей между параметрами атмосферы и целевой переменной.

Теоретическая значимость работы заключается в предложенной методологии прогнозирования выработки на основе анализа метеорологических данных для эффективного построения моделей предсказания выработки ФЭС.

Практическая значимость диссертации состоит в полученных моделях предсказания, которые позволят спрогнозировать выработку солнечных панелей с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемой рассматриваемой моделью, не менее $0,937 \pm 0,028$ за заданный диапазон времени.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Математические модели прогноза выработки электроэнергии, основанные на применении методов множественной регрессии, штрафующих функций и на непосредственном прошлом, позволяют прогнозировать выработку с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемой рассматриваемой моделью, не менее $0,787 \pm 0,13$, что показывает их перспективность для создания информационных систем прогнозирования характеристик ФЭС.

2. Математические модели прогноза выработки электроэнергии, основанные на применении методов деревьев решений и на непосредственном прошлом, позволяют прогнозировать выработку с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемой рассматриваемой моделью, не менее $0,937 \pm 0,028$, что показывает их перспективность для создания информационных систем прогнозирования характеристик ФЭС.

3. Корреляционная матрица метеорологических параметров, основанная на экспериментально установленной взаимосвязи скорости ветра, плотности воздуха, температуры, облачности, наземного горизонтального и излучения в верхних слоях атмосферы, позволяющая выявить зависимость факторов, воздействующих на ФЭС.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты докладывались и обсуждались на конференциях: XXIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов (г. Рязань, Российская Федерация, 2019 год), на международной научной конференции «Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности» (г. Волгоград, Российская Федерация, 2020) и на VII Международной научно-практической конференции, *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA* и анализ высокого уровня (г. Минск, Беларусь, 2021 год).

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Математические методы в проектировании изделий электроники» и «Математические методы в программировании».

Публикации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 9 печатных работах. Из которых 6 статей в материалах конференций, 3 публикации в научных журналах.

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 9 печатных работах. В их числе 3 статьи в рецензируемом журнале, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов исследований, 6 статей в сборниках материалов научных конференций.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 40 страниц.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе проанализировано состояние мировой гелиоэнергетики. На примере Республики Беларусь описан потенциал и ресурсы солнечной энергии.

Во второй главе были проанализированы методы машинного обучения, основанные на регрессионном анализе и на древесных моделях. Описаны критерии оценки качества моделей, а также метод интерпретации результатов.

В третьей главе были описаны проводимые эксперименты по прогнозированию электрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе поликристаллического кремния по моделям их деградации.

В четвертой главе был произведен анализ данных на языке программирования *Python*. Также был осуществлен поиск взаимосвязей в данных на основе попарных отношений для метеорологических показателей погоды.

В главе пять было произведено построение моделей машинного обучения на языке программирования *Python*.

В приложении представлены акты внедрения, акт о практическом использовании результатов исследования, графическая часть, публикации автора и справка из системы «АНТИПЛАГИАТ».

Общий объем диссертационной работы составляет 128 страниц. Из них 77 страниц основного текста, 26 иллюстраций на 23 страницах, 9 таблиц на 7 страницах, библиографический список из 58 наименований на 5 страницах, список собственных публикаций соискателя из 9 наименований на 2 страницах, 5 приложений на 50 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы использования солнечных элементов, описана необходимость контроля и экономии электроэнергии, выработанной ФЭС, грамотным и эффективным хранением накопленной электроэнергии, обозначена перспективность исследований и обоснована актуальность темы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В первой главе приведен обзор современного состояния мировой гелиоэнергетики. Из анализа следует, что ежегодно разрабатываются различные программы по развитию и применению альтернативных источников энергии. В связи с этим возрастает суммарная мощность действующих фотоэлектрических установок. На 2019 год суммарная мощность действующих во всем мире гелиоэнергетических установок составляет 586 ГВт (рисунок 1).

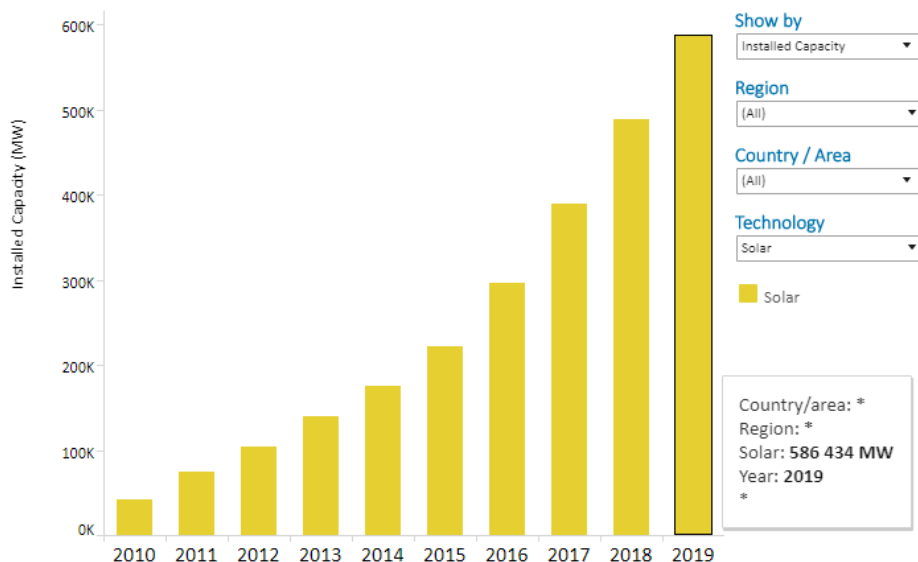


Рисунок 1 – Суммарная мощность действующих фотоэлектрических установок во всем мире

Азия является частью мира с самой большой долей фотоэлектрической мощности при 330,1 ГВт совокупной установленной мощности. Китай является крупнейшим рынком в регионе с совокупной мощностью 205,7 ГВт, затем следует Япония с 61,8 ГВт, Индия с 34,8 ГВт и Южная Корея с 10,5 ГВт.

Выработка электроэнергии солнечным элементом/модулем/батареями напрямую зависит от уровня инсоляции. Республика Беларусь имеет потенциал для развития и дальнейшего использования ФЭС.

На сегодняшний день имеется государственная программа «Энергосбережение», согласно которой на 2016–2020 годы планируется внедрить ФЭС суммарной электрической мощностью не менее 250 МВт.

Во второй главе приведен обзор статистических методов машинного обучения, основанных на регрессионном анализе и на древесных моделях. Описаны критерии оценки качества полученных моделей, а также метод интерпретации результатов.

В качестве регрессионных моделей была рассмотрена линейная регрессия, ее модификация – множественная линейная регрессия, а также методы штрафования за счет добавления дополнительных членов: суммы модулей или суммы квадратов коэффициентов, которые в свою очередь регулируются параметром λ .

В качестве древесных моделей был рассмотрен метод дерева решений, а также его модификации на основе операций бустинга и бэггинга: градиентный бустинг (*Gradient Boosting*) и лес деревьев (*Random forest*) соответственно.

Для оценки качества полученных моделей были рассмотрены такие метрики качества как *MSE (Mean Squared Error)*, *MAE (Mean Absolute Error)*, *R² (R-squared)*. Инструмент для интерпретации полученных результатов, а именно для оценки важности вклада каждого параметра модели была выбрана *SHAP* метрика.

В третьей главе были описаны проводимые эксперименты по прогнозированию электрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе поликристаллического кремния по моделям их деградации. Была установлена закономерность деградации ff и I_{sc} , проявляющаяся в наличии линейной корреляционной зависимости (коэффициент корреляции $\sim 0,9$) между его значением в начальный момент времени и конечный моменты.

Были проведены ускоренные испытания СЭ в количестве 150 шт. в печи при температурах 150–155 °С и эквивалентном уровне освещения 2000 Вт/м². Испытания проводились в течение 168 часов, а измерения проводились через каждые 56 часов.

Было отмечено, что классическая гипотеза о нормальном распределении разброса параметра позволяет достоверно формировать модели лишь в начальный момент времени, когда коэффициент асимметрии не превышает 1 % и, по-видимому, в течении небольшого периода наработки. При этом в конечный момент времени коэффициент асимметрии составил 8,2 %.

В четвертой главе был произведен анализ данных на языке программирования *Python*. Был осуществлен поиск взаимосвязей в данных на основе парных отношений для метеорологических показателей погоды, а также нахождения корреляций с использованием коэффициента корреляции Пирсона.

В таблице 1 приведены коэффициенты корреляции для каждой метрики погоды с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Основными информационными параметрами, используемыми для анализа данных, являются: $v1$ – скорость ветра; $SWTDN$ – значение интенсивности солнечного излучения до атмосферы, Вт/м²; $SWGDN$ – значение интенсивности солнечного излучения на горизонтальной площадке у земли, Вт/м²; T – температура, К; Rho – плотность воздуха у поверхности, кг/м³; p – давление воздуха, Па.

Таблица 1 – Корреляционная матрица

	<i>Solar Intensity</i>	<i>SWGDN</i>	<i>SWTDN</i>	<i>T</i>	<i>rho</i>	<i>p</i>	<i>v1</i>
<i>Solar Intensity</i>	1	0,95	0,86	0,79	-0,73	0,06	-0,39
<i>SWGDN</i>	0,95	1	0,93	0,79	-0,74	0,04	-0,38
<i>SWTDN</i>	0,86	0,93	1	0,79	-0,78	-0,1	-0,33
<i>T</i>	0,79	0,79	0,79	1	-0,95	0,017	-0,31
<i>rho</i>	-0,73	-0,74	-0,78	-0,95	1	0,28	0,22
<i>p</i>	0,06	0,04	-0,1	0,017	0,28	1	-0,25
<i>v1</i>	-0,39	-0,38	-0,33	-0,31	0,22	-0,25	1

Скорость ветра и плотность воздуха не имеют высокой корреляции с интенсивностью солнечного излучения. Интенсивность изменяется практически

равномерно от более низких значений к любым значениям скорости ветра. Таким образом, скорость ветра имеет почти нулевую корреляцию с интенсивностью солнечного излучения, и ее значение не указывает на целевую переменную или выработку энергии на солнечной панели. Температура коррелирует с интенсивностью солнечного излучения при более высоких значениях: если температура имеют большие значения, интенсивность солнечного излучения, вероятно, будет высокой.

Облачность имеет высокую отрицательную корреляцию с интенсивностью солнечного излучения. В каждом случае, когда значение показателя увеличивается, показания интенсивности солнечного излучения обычно уменьшаются. Однако, как и в случае с днем года, должны быть и другие факторы, способствующие измерению интенсивности солнечного света, поскольку в некоторые дни бывает высокий небесный покров. Также очевидно, что сильная корреляцию имеет целевая функция с интенсивностью солнечного излучения от наземного горизонтального и изучения в верхних слоях атмосферы.

В главе пять было произведено построение моделей машинного обучения на языке программирования *Python*. В таблицах 2 и 3 приведены метрики качества для линейных и древесных моделей соответственно.

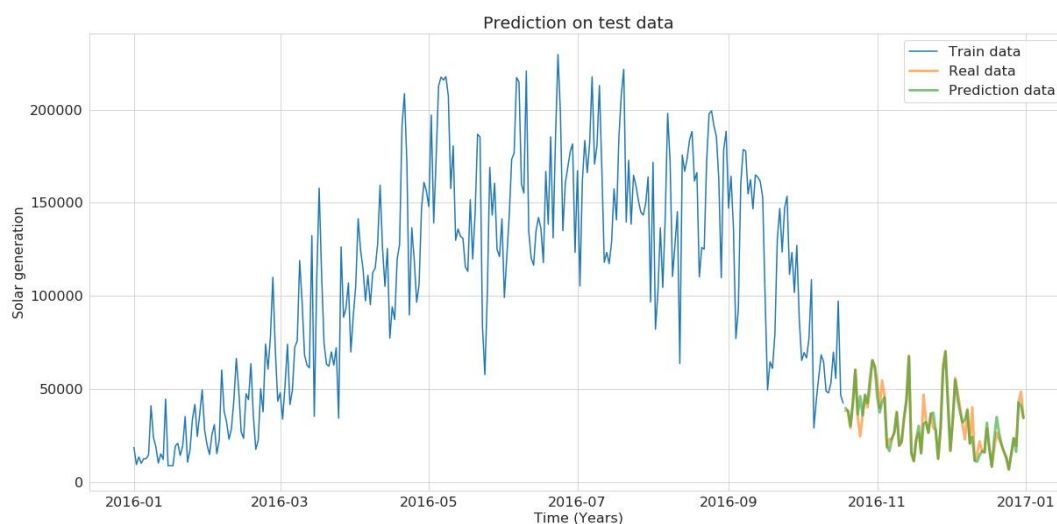
Таблица 2 – Метрики качества для линейных моделей

№ п/п	Метод прогнозирования	<i>Mean squared error (MSE)</i>	<i>Mean absolute error (MAE)</i>	R^2
1	<i>LinearRegression</i>	387,92	16710,52	0,765 (<i>mean</i>) ± 0,1084 (<i>std</i>)
2	<i>Ridge</i>	209,98	11883,01	0,787 (<i>mean</i>) ± 0,1343 (<i>std</i>)
3	<i>Lasso</i>	301,35	14677,08	0,772 (<i>mean</i>) ± 0,0831 (<i>std</i>)

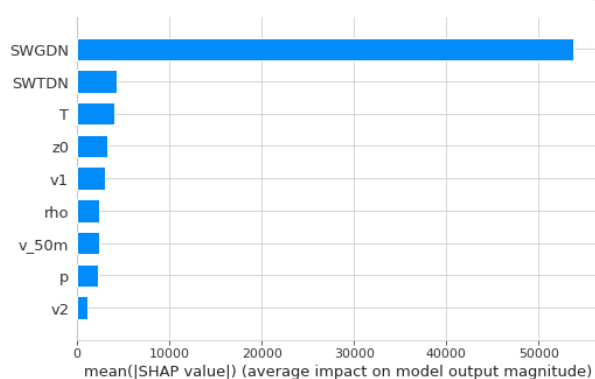
Таблица 3 – Метрики качества для древесных моделей

№ п/п	Метод прогнозирования	<i>Mean squared error</i>	<i>Mean absolute error</i>	R^2
1	<i>DecisionTreeRegressor</i>	79,53	4001,56	0,869 (<i>mean</i>) ± 0,0657 (<i>std</i>)
2	<i>RandomForestRegressor</i>	34,43	4204,331	0,935 (<i>mean</i>) ± 0,0287 (<i>std</i>)
3	<i>GradientBoostingRegressor</i>	23,71	2533,645	0,937 (<i>mean</i>) ± 0,0279 (<i>std</i>)

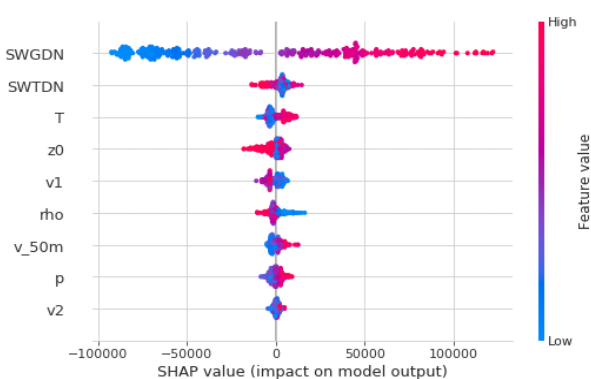
Наиболее перспективной моделью стала *GradientBoostingRegressor*, которая обеспечивает минимальную абсолютную и квадратичную ошибки, а также максимальную среднюю (*mean*) метрику R^2 и минимальный разброс (*std*) на 10 отрезках данных. На рисунке 2 приведены результаты прогнозирования выработки ФЭС (а) и влияния параметров атмосферы (б, в) при помощи алгоритма *GradientBoostingRegressor*.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 2 – Результаты прогнозирования выработки ФЭС (а) и влияния параметров атмосферы (б, в) при помощи алгоритма *GradientBoostingRegressor*

В целом абсолютные ошибки по 6 методам машинного обучения сильно разнятся от 16710 до 2533 Вт/м². Можно сделать вывод, что деревянные модели показали себя намного лучше конкретно в данной задаче, где нет очевидной нелинейной корреляции между параметрами с целевой переменной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Выполнен корреляционный анализ метеорологических параметров. Выявлено, что скорость ветра, плотность воздуха и температура не имеют высокой корреляции с интенсивностью солнечного излучения; облачность имеет высокую отрицательную корреляцию с интенсивностью солнечного излучения, а также наземное горизонтальное и изучение в верхних слоях атмосферы [1, 6, 7, 8, 9].

2. Установлено, что разработанные математические модели прогноза выработки электроэнергии, основанные на применении методов множественной регрессии, а также штрафующих функций, и на непосредственном прошлом, позволяют прогнозировать выработку с параметрами:

с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью, не менее $0,787 \pm 0,13$, что показывает их перспективность для создания информационных систем прогнозирования характеристик ФЭС [2, 3].

3. Установлено, что разработанные математические модели прогноза выработки электроэнергии, основанные на применении метода деревьев решений и на непосредственном прошлом, позволяют прогнозировать выработку с параметрами: с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью, не менее $0,937 \pm 0,028$, что показывает их перспективность для создания информационных систем прогнозирования характеристик ФЭС [2, 4, 5].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре Электронные техники и технологии учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Математические методы в проектировании изделий электроники», «Математические методы в программировании».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах

1. Хорошко, В.В. Структурные, морфологические и оптические свойства тонких пленок CdS/ В.В. Хорошко, В.Ф. Геменок, И.Н. Цырельчук, О.Д. Аксёнов, В.К. Ли // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 2-2020 – С.43–45.

2. Аксёнов, О.Д. Прогнозирование электрических характеристик фотоэлектрических преобразователей на основе поликристаллического кремния по моделям их деградации / О. Д. Аксёнов [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

3. Аксёнов, О.Д. Прогнозирование выработки электроэнергии солнечными электростанциями на основе регрессионного анализа параметров / О.Д. Аксёнов [и др.] // Вестник ТУИТ, Ташкент, Узбекистан. – 2020, №4(56). – С.57–69.

Статьи в сборниках научных трудов

4. Аксёнов, О.Д. Прогнозирование энергетических характеристик фотоэлектрических станций методами обучения деревьев решений / О. Д. Аксёнов [и др.] // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 мая 2021 года / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2021. – С. 390–394.

5. Аксёнов, О. Д. Анализ ускоренных режимов испытаний солнечных элементов / О.Д. Аксёнов, В.К. Ли // Новые информационные технологии в научных исследованиях (НИТ-2019): материалы XXIV Всероссийской научно-

технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 13 - 15 ноября 2019 г: в 2 т. / Министерство образования и науки РФ; Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина. – Рязань, 2019. – Т. 2. – С. 77 – 78.

6. Аксёнов, О.Д. Исследование эффективности работы солнечной батареи при скорости ветра / О. Д. Аксёнов [и др.] // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности : сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции, Волгоград, 21–22 января 2021 г. : в 2 ч. / Научно-производственное предприятие «Медпромдеталь». – Волгоград, 2021. – Ч. 2. – С. 74–75.

7. Аксёнов, О.Д. Солнечные электростанции, работающие под воздействием природного фактора давление / О. Д. Аксёнов [и др.] // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности : сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции, Волгоград, 21–22 января 2021 г. : в 2 ч. / Научно-производственное предприятие «Медпромдеталь». – Волгоград, 2021. – Ч. 2. – С. 76–78.

8. Аксёнов, О.Д. Влияние температуры на выработку электроэнергии солнечных электростанций / О. Д. Аксёнов [и др.] // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам СС международной научно-практической конференции / Интернаука. – Москва, 2021. – № 5 (200). – С. 252–255.

9. Аксёнов, О.Д. Исследование эффективности работы солнечной батареи при облачности / О. Д. Аксёнов [и др.] // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам СС международной научно-практической конференции / Интернаука. – Москва, 2021. – № 5 (200). – С. 248–251.

РЭЗІЮМЭ

Аксёнаў Алег Дмітрыевіч

Кратко і сярэдняе прагназаванне вырабаў сонечных модуляў і батарэй на аснове метэаралагічных дадзеных

Ключавыя словы: машыннае навучанне, сонечныя элементы.

Мэта працы: даследаванне карэляцыі метэаралагічных параметраў з выработнай электраэнергіяй ад сонечных модуляў і прагназаванне выразнасці сонечных панэляў на розных інтэрвалах часу.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны метады і алгарытмы прагназавання энергетычных параметраў ФЭС, якія адрозніваюцца прымяненнем рэгрэсійнага аналізу вялікіх аб'ёмаў дадзеных па вырабу электраэнергетыкі і ўсталяванне карэлюючых сувязей паміж параметрамі атмасферы і мэтай пераменнай. Атрыманыя мадэлі прадказанні выпрацоўкі ФЭС, дазваляюць прадказваць выпрацоўку сонечных панэляў з доляй дысперсіі залежнай пераменнай, якая тлумачыцца разглядаванай мадэллю, не менш $0,937 \pm 0,028$ за дадзены дыяпазон часу.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранены ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальных курсах «Матэматычныя метады ў праектаванні вырабаў электранікаў» і «Матэматычныя метады ў праграмаванні».

Вобласць ужывання: сонечныя электрастанцыі.

РЕЗЮМЕ

Аксёнов Олег Дмитриевич

Кратко и среднесрочное прогнозирование выработки солнечных модулей и батарей на основе метеорологических данных

Ключевые слова: машинное обучение, солнечные элементы.

Цель работы: исследование корреляции метеорологических параметров с выработанной электроэнергией от солнечных модулей и прогнозирование выработки солнечных панелей на различных интервалах времени.

Полученные результаты и их новизна: разработаны методы и алгоритмы прогнозирования энергетических параметров ФЭС, отличающихся применением регрессионного анализа больших объёмов данных по выработке электроэнергии и установлению корреляционных связей между параметрами атмосферы и целевой переменной. Полученные модели предсказания выработки ФЭС, позволяют спрогнозировать выработку солнечных панелей с долей дисперсии зависимой переменной, объясняемой рассматриваемой моделью, не менее $0,937 \pm 0,028$ за заданный диапазон времени.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Математические методы в проектировании изделий электроники» и «Математические методы в программировании».

Область применения: солнечные электростанции.

SUMMARY

Aksyonov Oleg Dmitrievich

Short and medium term of forecasting of solar modules and batteries production based on meteorological data

Keywords: machine learning, solar cells.

The object of study: study of the correlation of meteorological parameters with the generated electricity from solar modules and forecasting the production of solar panels at different time intervals.

The results and novelty: methods and algorithms for predicting the energy parameters of PV power plants have been developed, which are distinguished by the use of regression analysis of large amounts of data on power generation and the establishment of correlations between the parameters of the atmosphere and the target variable. The obtained models for predicting the production of PVS make it possible to predict the production of solar panels with a fraction of the variance of the dependent variable, which is explained by the model under consideration, not less than 0.937 ± 0.028 for a given time range.

Degree of use: the results implemented in the educational process at the department of design information and computer systems educational institution «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics» in the training courses «Mathematical methods in the design of electronics products» and «Mathematical methods in programming».

Sphere of application solar power plants.